

虚拟环境中三维贴体衣片的设计

陆永良¹, 胡金莲², 李汝勤¹

(1. 东华大学纺织学院, 上海, 200051; 2. 香港理工大学)

摘要 介绍了在虚拟环境中利用鼠标和三维空间交互球选取并控制人体模型上的点, 将之作为三维衣片边界上的点, 结合相应的数据结构, 得到三维衣片轮廓线的点、边、衣片结构, 接着利用插值的方法生成边界内的点, 然后 Delaunay 三角化, 生成衣片的三角面片, 并将之演示出来。本文的创新点主要有以下几方面: 开发了一个三维衣片设计系统, 该系统集成了一套小型虚拟现实系统(小型立体显示观察系统和三维空间交互球), 在该系统生成的三维虚拟环境中, 设计者可以引入由美国(TC²)公司三维人体测量系统生成的真实人体模型, 在此基础上自由设计三维衣片, 该系统提供了一些交互手段, 使设计者可以像在真实三维环境中设计衣片一样, 提供了直观的设计效果, 该系统是用 VC++6.0 和 OpenGL 开发的; 介绍了一种新的插值方法, 利用这种特定的方法, 可以得到符合人体且具有一定空隙量的贴体三维衣片; 对 Delaunay 三角化生成的三角衣片, 进行了改进, 去掉了位于三维衣片凹边外的部分, 从而得到了完全符合衣片设计轮廓的三维衣片。

关键词: 虚拟现实技术, 三维衣片, 人体模型, 三维交互设计, 三次样条插值曲线, Delaunay 三角化, 插值

中图分类号: TP 391.72

综观国内和国外的服装 CAD 系统, 其中绝大部分属于平面服装 CAD 系统。这些系统都是根据服装平面裁剪的原型计算公式来自动设计服装衣片, 然后再将衣片虚拟缝合到计算机人体模型上, 观察它的悬垂效果, 目前更进一步的工作着重于实现虚拟服装的动态悬垂效果^[1~6]。平面服装 CAD 简单、灵活, 具有一定的优越性, 但缺点是不够直观, 要设计出合体美观的衣片需要丰富的经验。立体裁剪^[7]不是一门新学科或新技术, 她有着悠久的发展和历史。在服装文化的发展史中, 东方服饰与西方服饰发展的最大差异性之一就是东方服饰的平面特征较强, 而西方服饰的立体特征鲜明, 因此我国的服装裁剪技术以平面方法为主, 西方的服装裁剪技术以立体方法为主。近年来, 我国的服装裁剪技术受到西方很大的影响, 以适应日新月异的服装款式变化。立体裁剪方法也就是在这么一个大的环境下逐渐地走近我们的。课题的设想是利用虚拟现实技术提供的三维交互手段, 在计算机生成的虚拟环境中生成具有一定适体度的三维衣片, 然后将三维衣片展开成二维衣片, 随后将二维衣片输出, 在现实环境中用布料在人台上进行验证。

1 虚拟现实技术

虚拟现实技术是一种最有效的模拟人在自然

环境中视、听、动等行为的高级人机交互技术。这种模拟具有“临境感”(immersive)和“交互性”(interactive)^[8, 9]。

虚拟现实技术也将使传统 CAD 技术发生革命性的变化, 目前虚拟现实技术在汽车设计、飞机设计、虚拟厨房设计等方面都有应用, 并且国外已将虚拟现实技术应用在了纺织服装 CAD 上, 主要有两家已推出了较有成果的项目:

一是英国 Nottingham Trent University 在 1996 年推出的 VirtuOsi 项目^[10, 11]。据报道该项目的目标是给设计者提供一组计算机工具使得设计者能在虚拟现实环境中生成和展示服装, 它包括生成精确的有关节连接的人体和测量工具、各种织物类型的表达、衣片裁剪工具的模拟以及能在其中演示和讨论服装的虚拟现实环境的生成;

另外一家是法国力克(Lectra)公司在 2000 年推出的 E-Design、E-Manufacturing、E-Sales 和 LectraOnline 项目^[12~14], 其中 E-Design 就是使设计者在虚拟环境中设计虚拟服装(目前主要是服装原型)、内衣、手提袋和沙发。

上述两家只见到其介绍性的文章, 具体的实现方法和思路并未涉及, 从其介绍来看它们也仅仅只能实现简单款式的设计。

本课题使用北京黎明公司提供的 VR3800L 系

统,如图1所示,它包括:小型立体显示观察系统和三维空间交互球。

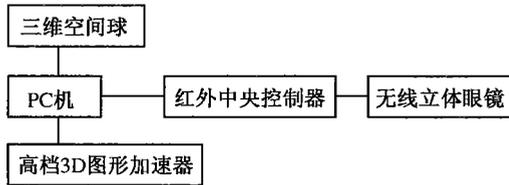


图1 小型虚拟现实系统

(1) 小型立体显示观察系统

① 高档专业3D图形加速器(逐行立体加速显示、VR专用);

② 红外中央控制发射器;

③ 无线立体眼镜。

(2) 三维空间交互球

如图2所示,三维空间交互球可以实现三维物体6自由度的空间交互,是一种真正的三维输入设备,它能将微小的手指压力转换成X、Y、Z方向的平移和旋转量,这样它就是对图形进行了直观的6个自由度的交互。

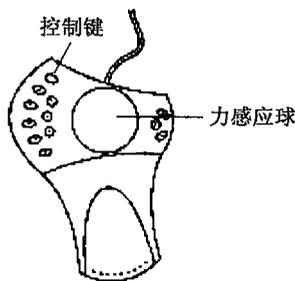


图2 三维控制球SPACEBALL

2 人体模型

三维人体模型的生成主要有两种方法:一是利用现有的三维造型软件如3DSMAX、POSER、MAYA等,这种方法较为繁琐且生成的人体较为夸张,一般用于3D游戏;另一种方法是利用计算机视觉的方法从几幅图像中恢复三维人体的三维点阵数据,随后用曲面进行拟合得到三维人体模型。B. Xu等介绍了一种三维人体建模系统,它包括一个数码相机、一个旋转平台、一个光照密室,并详细介绍了三维人体的建模过程^[15]。

课题中用到的人体模型是利用我校服装学院从美国(TC²)公司引进的三维人体测量系统来生成。该系统的原理是利用前后4个摄像头同时采

集到4幅人体不同方位的图像,然后用莫尔条纹干涉的方法计算出人体模型的三维点阵数据。接着利用三维点阵数据进行三角曲面拟合,得到三维人体模型。最后进行尺寸提取操作,得到三维人体尺寸。

3 三维衣片设计系统

3.1 三维衣片的数据结构

3.1.1 点结构

```
typedef struct _GLVRVertice{
    GLuint vindex;    点序号
    GLdouble vertice[3];  点坐标
    GLdouble normal[3];  点法向量
    GLdouble gap;    点与人体表面的间距
    GLboolean center;  点是否为衣片中心点
    bool border;    点是否为边界上的点
    struct _GLVRVertice * next;  到下一个点的指针
}GLVRVertice;
```

3.1.2 边结构

```
typedef struct _GLVRBorder{
    GLuint bindex;  边的序号
    GLuint vindices[8];  边由哪些控制点组成
    GLboolean line;  边是直线还是曲线
    struct _GLVRBorder * next;  到下一条边的指针
}GLVRBorder;
```

3.1.3 三角形结构

```
typedef struct _GLVRTriangle{
    GLuint vindex[3];  三角形包含的顶点
    GLuint nindex[3];  三角形包含的法向量
    GLuint tindex[3];  三角形包含的纹理
    GLuint findex;  三角形序号
}GLVRTriangle;
```

3.1.4 三维衣片结构

```
typedef struct _GLVRPatch{
    GLuint numvertices;  衣片包含的控制点数
    GLVRVertice * glvrvertices;  衣片包含的控制点
    GLuint numnormals;  衣片包含的法向量数
    GLdouble * normals;  衣片包含的法向量
    GLuint numfacenormal;  衣片包含的面法
```

向量数

GLdouble * facenormal; 衣片包含的面法

向量

GLuint numborders; 衣片包含的边数

GLVRGBorder * glvrborders; 衣片包含的边

GLuint numpatchvertice; 衣片包含的顶点数

GLVRVertice * patchvertice; 衣片包含的

顶点

GLuint numtriangle; 衣片包含的三角

形数

GLVRTriangle * patchtriangle; 衣片包含

的三角形

}GLVRPatch;

以上 4 个结构是课题设计的衣片数据结构,利用鼠标和三维空间交互球选取并控制人体模型上的点,将之作为三维衣片边界上的点。结合设计的相应的数据结构,得到三维衣片轮廓线的点、边、衣片结构。接着利用插值的方法生成边界内的点,然后 Delaunay 三角化,生成衣片的三角面片,得到完整的衣片。

3.2 三维衣片轮廓线的生成

在实际工作中,常用的拟合曲线有:3 次参数样条曲线、Bezier 曲线、B 样条曲线等;所谓的曲线拟合是指在曲线的设计过程中,用插值或逼近的方法使生成的曲线达到某些要求,如在允许的范围内贴近原始的型值点或控制点序列,使曲线看

上去要“光滑”、“光顺”等。Bezier 曲线和 B 样条曲线是以逼近为基础的参数曲线,它们具有直观和凸包性等优点,但是它们一般不通过给定的特征多边形,运用重节点的方法仅能使它们通过个别的点,因此它们主要用于自由型曲线的设计。虽然通过使用它们的反算拟合方法^[16~18],也可以使它们通过给定的型值点,但毕竟绕了一个大弯子;课题中用的 3 次样条插值曲线,竟直接运用了插值的方法使拟合曲线通过给定的型值点,并且满足了曲线光滑的要求,可以很好地满足课题的需要。

(1) 三维衣片轮廓线由直线和曲线组成,选取点并生成相应衣片结构时按照如下思路:

① 若边是由两个点组成,则确定该边是直线;

② 若边是由多于两个点组成,则确定该边是曲线。

对于直线,很显然两点确定一条直线;而对于曲线,系统中用的是 3 次样条插值方法,通过它可以生成经过几个控制点的二阶导数连续曲线。

(2) 三维衣片轮廓线的设计与演示如下:

① 上前衣片

图 3(a) 中边界控制点有 14 个{1, 2, 3, ..., 14};边共有 7 条,分别是:

line1 {1 2}, line2 {2 3}, line3 {3 4 5 6}, line4 {6 7}, line5 {7 8 9 10}, line6 {10 11}, line7 {11 12 13 1}, 中心点是 14, 如图 3 所示。

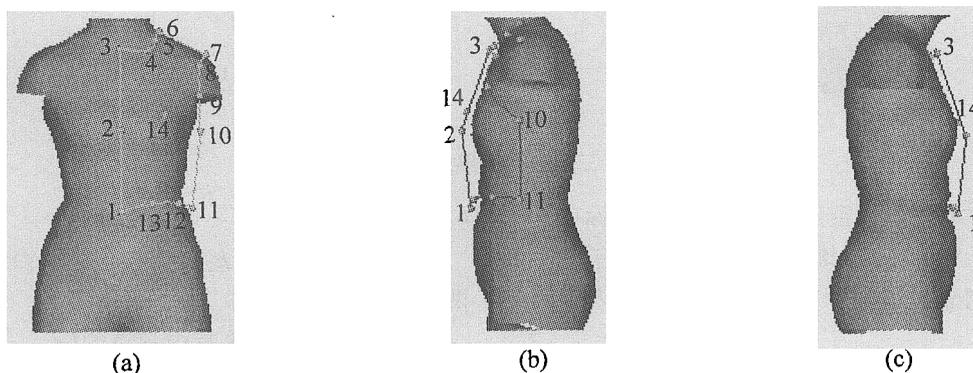


图 3 上前衣片轮廓线

在系统中可任意旋转和平移模型和衣片,这里选了 3 个角度。

② 前裙片

图 4(a) 中边界控制点有 10 个{1, 2, 3, ...,

10};边共有 5 条,分别是: line1 {1 2}, line2 {2 3}, line3 {3 4 5 6}, line4 {6 7}, line5 {7 8 9 1}, 中心点是 10, 如图 4 所示。

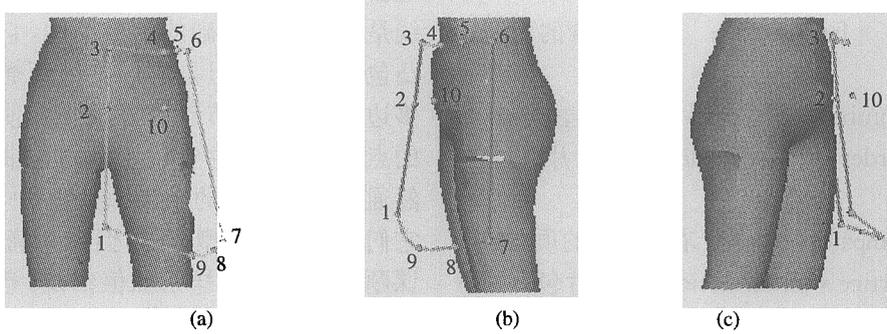


图 4 前裙片轮廓线

3.3 衣片内的点

B. K Hinds 和 J. McCartney^[19, 20]在 1990、1992 年发表的两篇文章中介绍了一种利用数字化仪实现三维交互,生成具有一定适体度三维衣片的方法。其具体过程是将数字化仪映射到计算机中三维人体表面,数字化仪上的移动对应计算机中三维人体表面的移动,另外提供一定的自由度,来确定距人台表面的偏移量(定义为人体法面到人体外某点的距离,即服装的合体度 offset)。生成三维衣片时,首先确定具有一定偏移量的衣片边线上的各点,运用曲线拟合得到衣片的各边曲线,然后运用

插值方法得到衣片内各点的偏移量,进行曲面拟合就得到了符合人体形状的三维衣片。

结合课题的特定情况,发展了一种新的插值方法,同样能获得符合人体表面且具有一定间距的衣片内各点,从而根据这些点得到符合人体形状的三维衣片,下面具体介绍一下这个算法:

利用虚拟现实系统 VR3800L 提供的三维空间交互球(SPACEBALL)和鼠标,获得距离虚拟人体表面一定距离的一些点 $i(1 \sim 14)$,把它们作为三维虚拟衣片边界上的一些点和中心点,如图 5 所示。

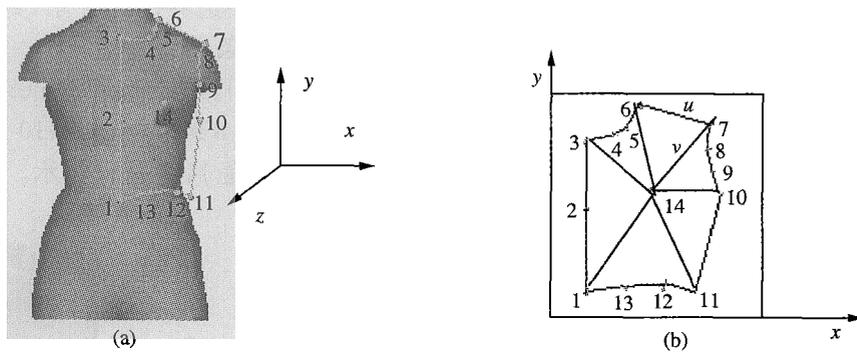


图 5 三维衣片边界点和中心点

图 5(a)所示为三维空间中的点,具有坐标 (x_i, y_i, z_i, k) ;图 5(b)为二维空间中的点,具有坐标 (x_i, y_i, k) ,它去掉了坐标 z_i ,其中 k 是点与人体的间距。

$k_{(u)}$;

其中, $(x_1, y_1, k_1), (x_2, y_2, k_2)$ 是每条边的两个端点;

这样就得到了衣片内各点的 (x_i, y_i, k) 。

对每一条边,插值变量 $u[0, 1], v[0, 1]$ 满足:
 $x_{(u)} = x_1 + u(x_2 - x_1), x_{(u, v)} = x_{(u)} + v * (x_c - x_{(u)});$
 $y_{(u)} = y_1 + u(y_2 - y_1), y_{(u, v)} = y_{(u)} + v * (y_c - y_{(u)});$
 $k_{(u)} = k_1 + u(k_2 - k_1), k_{(u, v)} = k_{(u)} + v * (k_c -$

下一步,假设人体表面是连续的,即 (x, y) 临近的点的 z 坐标相差很小,于是由得到的衣片内各点的 x, y 坐标,找到人体模型上相距最小的点,以模型上的点的 z 坐标代替衣片内各点的 z 坐标,加上 k ,就得到了三维衣片内的点,并且这是符合人体轮廓的具有一定空隙的衣片,如图 6 所示。

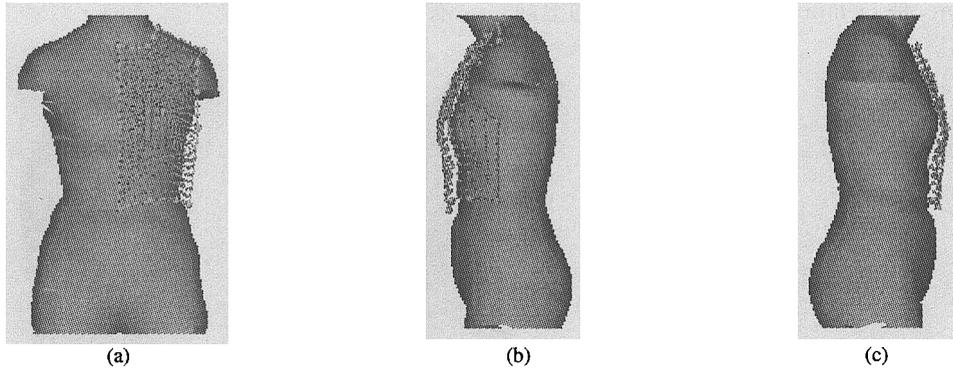


图 6 插值得到的衣片内各点

3.4 Delaunay 三角化

先介绍一下 Voronoi 图: 一组几何对象的 Voronoi 图是将值域分成一系列区间, 每个空间包

含的点与某一个几何对象的距离小于其他的几何对象, 如图 7 所示。

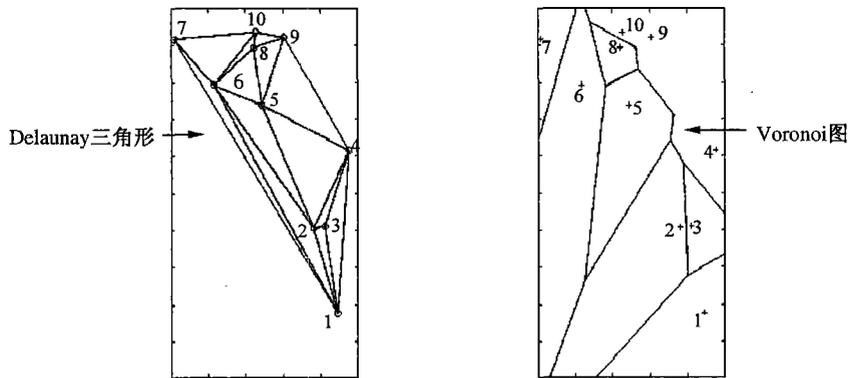


图 7 Delaunay 三角形与 Voronoi 图

给定一组平面点(1~10), 每个 Voronoi 多边形内的点与各个多边形包含的平面点的距离小于与其他平面点的距离; Delaunay 三角化得到一系列三角形, 并且这些三角形的外接圆内不包含给定的平面点, 外接圆的圆心是 Voronoi 多边形的顶点。

的衣片有一部分位于衣片轮廓线之外, 这是因为 Delaunay 三角化默认对凸型区域进行三角化, 因此对于衣片上凹边, Delaunay 三角化得到的三角形超出了边界。为了得到完全符合衣片轮廓线的三角面, 结合课题的实际情况, 对 Delaunay 三角化得到的三角形做了一些改进处理, 去掉了衣片轮廓线外的三角形; 具体的判断条件是如果三角形的三个顶点都位于衣片轮廓线上, 则将此三角形去掉, 图 8(c)是改进后得到的衣片三角面。

由前面得到的衣片内的各点, 进行 Delaunay 三角化, 得到一系列的三角形, 如图 8 所示: 图 8(a)是插值得到的衣片各点, 图 8(b)是未经改进的 Delaunay 三角化, 由图所示 Delaunay 三角化得到

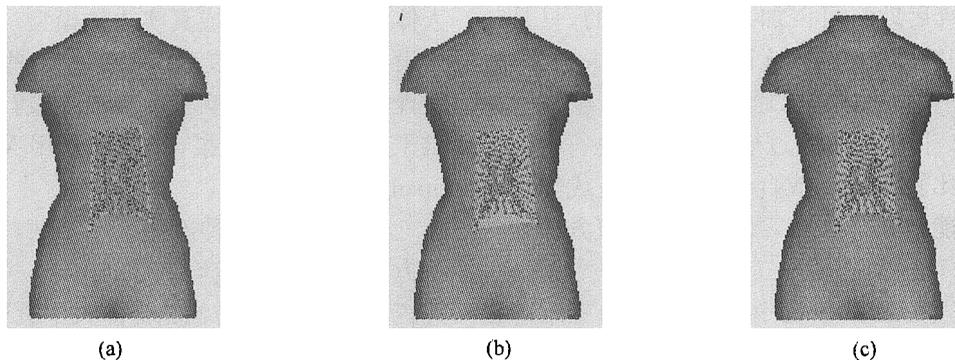


图 8 三维衣片三角化

如图 9 所示,是 Delaunay 三角化后得到的上前衣片。

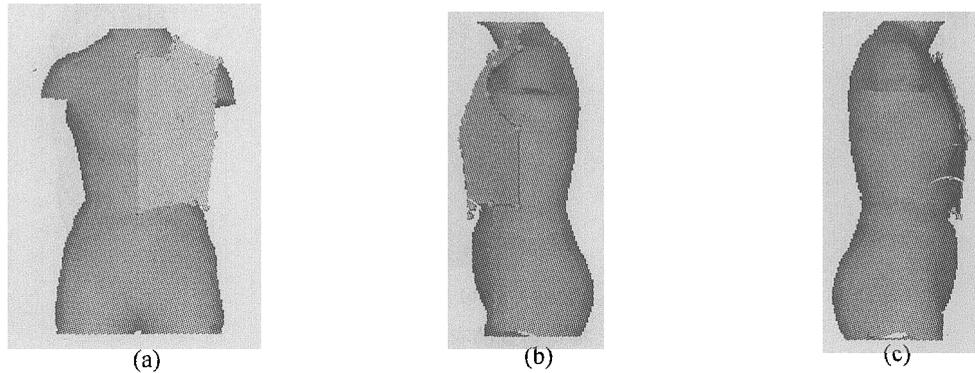


图 9 上前衣片三角面

如图 10 所示,是 Delaunay 三角化后得到的前裙片。

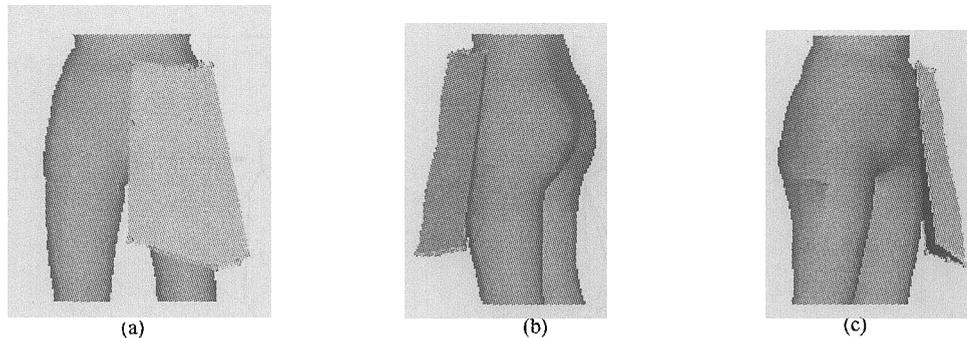


图 10 前裙片的三角面

4 结束语

立体裁剪的优势在于能设计出对于平面裁剪来说比较困难的款式,比如加上褶、波浪、垂荡等式样,只是目前的系统功能还无法实现;至于悬垂,在设计系统时,也曾考虑过在衣片几何模型的基础上,生成衣片的粒子物理模型,从而得到悬垂的效果,这也是为什么用插值的方法得到衣片内的点,然后三角化生成衣片,通过同样的插值思想,也可以得到衣片矩形点阵,从而可以加上粒子模型,因此系统后期是可以加入悬垂功能的,只是目前受时间和精力约束,这部分工作还未展开;至于款式的变化,完全可以通过边界控制点来达到一定的要求,但该系统通过插值生成的是符合人体三维衣片,比较适合生成合体服装,要生成宽松类的服装,可能效果不大好,要换一种插值方法才能实现。

综上所述,在虚拟环境中利用鼠标和三维空间交互球选取并控制人体模型上的点,将之作为三维衣片边界上的点,结合相应的数据结构,得到

三维衣片轮廓线的点、边、衣片结构。接着利用特定的插值方法生成边界内的点,然后使用经过改进的 Delaunay 三角化算法,得到了符合人体表面且具有一定空隙度的三维衣片。结果是令人鼓舞的,进一步的工作是将三维衣片平面展开,得到二维衣片。

本文的创新点主要有以下几方面:

(1) 开发了一个三维衣片设计系统,该系统集成了一套小型虚拟现实系统(小型立体显示观察系统和三维空间交互球),在该系统生成的三维虚拟环境中,设计者可以引入由美国(TC²)公司的三维人体测量系统的生成真实人体模型,在此基础上自由设计三维衣片,该系统提供了一些交互手段,使设计者可以像在真实三维环境中设计衣片一样,提供了直观的设计效果,该系统是用 VC++6.0 和 opengl 开发的;

(2) 介绍了一种新的插值方法,利用这种特定的方法,可以得到符合人体且具有一定空隙量的贴体三维衣片,具体方法请参照文中所述;

(3) 对 Delaunay 三角化生成的三角衣片,进行了改进,去掉了位于三维衣片凹边外的部分,从而

得到了完全符合衣片设计轮廓的三维衣片。

参 考 文 献

- [1] John W S Hearle. Textiles for composites virtual reality and fabric mechanics. *Textile Horizons*, 1995, 15(2): 12 - 15
- [2] Hidehiko Okabe, Haruki Imaoka, Takako Tomiha. Three dimensional apparel CAD system. *Computer Graphics*, 1992, 26 (2) : 105 - 110
- [3] Tae J Kang, Sung Min Kim. Development of three-dimensional apparel CAD system Part II: Prediction of garment drape shape. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2000, 12(1): 35 - 49
- [4] Tae J Kang, Sung Min Kim. Development of three-dimensional apparel CAD system Part I: Flat garment pattern drafting system. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2000, 12 (1): 26 - 38
- [5] Yves Chiricota. Geometrical modeling of garments. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2001, 13(1): 38 - 52
- [6] Gong D X, Hinds B K. Progress towards effective garment CAD. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2001,13(1): 12 - 22
- [7] 刘咏梅. 服装立体裁剪技术. 北京: 金盾出版社, 2001: 23 - 25
- [8] 李锦涛,刘国香. 虚拟环境技术. 北京: 中国铁道出版社, 1996: 16 - 18
- [9] 汪成为. 灵境(虚拟现实)技术的理论、实现及应用. 北京: 清华大学出版社,1997: 26 - 29
- [10] Stephen Gray. Information super highway. *Apparel International*,1995,26(8): 28 - 30
- [11] Stephen Gray. IT reaches clothing production. *Textile Asia*, 1995,26(8): 103 - 108
- [12] Wilson A. Pushing from the Front. *Textile Month*, 2001, July-Aug: 28 - 30
- [13] Niki Tait. CAD, virtual reality, mass customization, global process management and the Internet. *African Textiles*, 2000, Aug-Sep: 23 - 26
- [14] Sang-V. Meeting the new order challenge. *Textile Asia*, 2000,31(6): 61 - 64
- [15] Xu B, Sreenivasan S V. A 3-D body imaging and measurement system for apparel customization. *Journal of Textile Institute*,1999,90 (2): 104 - 120
- [16] 陆晓辉. 精确拟合的 B 样条算法的研究. *西北纺织工学院学报*,1992,2: 54 - 57
- [17] 汪军波. B 样条函数在计算机辅助服装设计中的应用. *纺织学报*,1987,8(7): 60 - 64
- [18] 杨建国,朱辉. 三维服装计算机辅助设计的曲面逼近和消隐. *中国纺织大学学报*, 1988,14(6): 1 - 6
- [19] Hinds B K, J McCartney. Interactive garment design. *The Visual Computer*, 1990, 6: 53 - 61
- [20] Hinds B K, J McCartney. Computer aided design of garments using digitized three-dimensional surfaces. *Proc Inst Mech Engrs*,1992,206: 199 - 206

Design of Three-dimensional Fitted Garment Pieces in a Virtual Environment

LU Yong-liang¹, HU Jin-lian², LI Ru-qin¹

(1. College of Textiles, Donghua University, Shanghai, 200051; 2. HongKong Polytechnic University)

Abstract This paper introduces how to design and demonstrate three-dimensional fitted garment pieces in a virtual environment. The contribution of this paper lies in the use of a three-dimensional, interactive piece of equipment (a spaceball) to design garment pieces in a true 3D environment. First, a mouse is used to select points on a human model, and then a spaceball is used to control the selected points, so that the points that have offsets to the model are obtained. Second, the points are provided to data structures that have been designed and presented in this paper, so that piece structures that have data on vertices and borders are achieved. Next, the points lying inside the borders are gained using special interpolation technology. The points are then triangulated so that the triangular surfaces of the garment are obtained. Finally, the garment is demonstrated in the system.

Keywords: virtual reality technique, three-dimensional piece, human model, three dimensional interactive design, cubic spline interpolation curve, Delaunay triangulation, interpolation